

Atomismo: De la Poesía de Lucrecio a la Ciencia de Galileo

Álbar García de Gurtubai Escudero

Fundación Galileo Galilei - INAF

Abstract

Me propongo exponer la influencia que el atomismo clásico ejerció en la ciencia desarrollada por Galileo. A primera vista, parecería que unir la antigua doctrina de los atomistas con los innovadores descubrimientos de Galileo es salirse de lo consensuado por parte de la historia. De hecho, la física de Galileo es una ciencia que mide, pesa, compara y está regida por leyes expresadas matemáticamente. Mientras que por definición, el atomismo clásico ni medía, ni pesaba, ni calculaba nada, refugiándose detrás de entidades subliminales de materia indivisible que se suponían dotadas de propiedades geométricas y mecánicas movidas por un impulso. Mostraré lo más relevante en cuanto a presencias y ausencias del atomismo en el corpus literario de Galileo, las más importantes referencias a Demócrito, a Epicuro y, principalmente, a Lucrecio que pueden hacer ver una fuerte adhesión galileana al atomismo nunca declarada por él mismo. Analizaré la evolución de Galileo en cuanto a sus ideas sobre la naturaleza corpuscular de la materia. Y finalmente, compararé algunas de las consecuencias que Galileo deduce de la hipótesis atomista con textos de Lucrecio extraídos del *De Rerum Natura*, centrándome en las distintas formas que ambos autores tienen de analizar la realidad, científica uno, y poético-filosófica el otro, y que llevan a conclusiones semejantes.

Key words: Atomismo, Galileo, Lucrecio.

Abstract. *Atomism: From the Poetry of Lucretius to the Science of Galileo.*

This article intend to expose the influence exerted by classical atomism in science developed by Galileo. At first glance, seem to unite the ancient doctrine of atoms with innovative discoveries of Galileo is out of consensus on the part of the story. In fact, Galileo's physics is a science that measures, weighs, compares, and is governed by laws expressed mathematically. While, by definition, classical atomism nor measured nor weighed, nor estimated at all, taking refuge behind subliminal subject entities that were supposed indivisible featuring geometric and mechanical properties driven by an impulse. This paper show the most relevant in terms of presence and absence of atomism in Galileo's literary corpus, the most important references to Democritus, Epicurus and mainly Lucretius allow to see a strong commitment to atomism Galileo never declared himself. I discuss the evolution of Galileo's ideas on the atomistic nature of matter. And finally, I will compare some of the consequences that it follows from the atomistic hypothesis of Galileo with extracted texts from Lucretius's *De Rerum Natura*, I shall focused on the ways that both authors have to analyze reality, a scientific, philosophical and poetic, the other, and leading to similar conclusions.

Key words: Atomism, Galileo, Lucretius.

Ciñéndome a la letra de esta sección “La Filosofía y el Origen de la Ciencia”, voy a hablar de una invariancia filosófica que ha estado presente en la actividad científica si no en todas las civilizaciones, al menos sí en distintos momentos históricos. El propósito es mostrar la influencia del atomismo en el desarrollo de los fundamentos de la física de Galileo. Para proceder de un modo ordenado y enfocar el problema de los fundamentos en su justa perspectiva expondré en primer lugar la relación entre Galileo y el atomismo en su contexto histórico y haré un breve examen de algunos pasajes de marcado carácter atomista en la obra del científico italiano.

Se me podría objetar que mezclar la antigua doctrina de los atomistas con los innovadores descubrimientos positivos de Galileo es un intento de situarme fuera de lo que se tiene por históricamente consensuado. La ciencia de Galileo es una ciencia basada en la confrontación empírica que precisa del acuerdo entre el resultado de los experimentos y la predicción realizada sobre una formulación matemática del problema científico a resolver. Por otra parte el atomismo clásico carecía de cualquier respaldo experimental, de toda formulación matemática, atrincherándose en la hipotética existencia de unas sutiles entidades subliminales de materia indivisible que se suponían dotadas propiedades mecánico-geométricas y movidas por impulsos externos.

No existen dos cosas más alejadas la una de la otra como el titánico esfuerzo acontecido a comienzos del siglo XVII de describir la realidad física mediante el uso de teoremas y la acumulación de experiencias, y esta fantástica ebullición de partículas inobservables que proponía el atomismo clásico. Sin embargo, algunos de los promotores de la ciencia al comienzo de la Edad Moderna como Bacon o Leibniz se preocuparon de elevar al estatus de ciencia a esta filosofía que trataba de poner orden en el cosmos, actualizándola y adaptándola a toda clase de teorías y disciplinas, matemáticas o químicas, dinámicas o mecánicas. La razón de que fuera precisamente esta doctrina el centro de atención para construir la sucesión de la física aristotélica es una incógnita que deberán resolver los historiadores de la ciencia del inicio de la Edad Moderna.

En el caso particular de un observador y físico-matemático como Galileo, la historia de la ciencia ha descartado que se pueda, al menos, hablar de una incondicional adhesión a los principios del atomismo. De hecho, Galileo no llegó a reconocer sin reservas ni que el vacío fuese una realidad física ni que el universo fuese realmente infinito. Por otra parte, el atomismo clásico en su versión más extendida que es la transmitida por la poesía de Lucrecio¹ se fundaba en la aberración geométrica y en el absurdo lógico de imaginar un desvío espontáneo de los átomos respecto al movimiento rectilíneo, el clinamen, causa de

1 Las citas de la obra *De Rerum Natura* (D.R.N.) de Tito Lucrecio Caro las he realizado en base a la traducción de Marchena en 1791. La numeración de los versos corresponde a la numeración latina aproximada referida a las ediciones más usuales.

si mismo y del libre albedrío². Esta piedra angular sobre la que se fundamentaba la doctrina atomista era, según Cicerón, una fábula pueril. Nadie, y menos un especialista del plano inclinado como Galileo, había visto jamás a un cuerpo grave desviarse espontáneamente en su caída de la trayectoria rectilínea.

La historiografía galileana minimiza la influencia del atomismo sobre Galileo al campo de la gnoseología, es decir, a la distinción de Demócrito, que Galileo recogió en *Il Saggiatore*, entre las cualidades objetivas como las geométrico-mecánicas y las subjetivas como el calor, el sabor y el olor que las emisiones de materia producen en los órganos sensoriales. Si Galileo establecía esta distinción, sin embargo, lo hacía sólo por afirmar, de cara a la polémica epistemológica, que la mecánica debía basarse en la matemática. En una palabra, predicaba la gnoseología de los atomistas, pero practicaba una física matemática que estaba justamente en las antípodas de una filosofía natural basada en las percepciones de los sentidos, como lo había sido aquella de Epicuro y de Lucrecio.

En esta línea, al comienzo de su gran obra *From the Closed World to the Infinite Universe*, Alexandre Koyré formula aquella interpretación que todavía hoy sigue siendo la canónica sobre el problema de la relación entre el atomismo antiguo y la primera ciencia moderna:

The atomism of the ancients, at least in the aspect presented to us by Epicurus and Lucretius [...] was not a scientific theory, and though some of its precepts, as for instance, that which enjoins us to explain the celestial phenomena on the pattern of the terrestrial ones, seem to lead to the unification of the world achieved by modern science, it has never been able to yield a foundation for development of a physics; not even in modern times: indeed, its revival by Gassendi remained perfectly sterile [...].³

El desarrollo de los modelos corpusculares en la filosofía natural del siglo XVII significaba la desaparición y descrédito del atomismo clásico y no su fecundidad y fortalecimiento y ello por causa de la filosofía empirista del conocimiento de la que estaba impregnada la física de Epicuro y de Lucrecio, que la ciencia moderna había desechado y a su vez sustituido

by a mathematical approach to nature that atomism -in the works of Galileo, R. Boyle, Newton, etc.- became a scientifically valid conception, and Lucretius and Epicurus appeared as forerunners of modern science. It is possible, of course, and even probable, that, in linking mathematism with atomism, modern science revived the deepest intuitions and intentions of Democritus.⁴

El resurgimiento moderno del atomismo tendría que considerarse como un truco táctico contra el aristotelismo. Bajo el estandarte de la nueva filosofía matemática de la naturaleza,

2 D.R.N. Lib. II vv. 213-295.

3 A. KOYRÉ, *From the Closed World to the Infinite Universe*, Forgotten Books, 1957, p. 202.

4 *Ibid.*, p.202.

los promotores de la ciencia moderna habían terminado por meter en el mismo saco a dos autores tan incompatibles como Demócrito y Platón, generando una extraña alianza. A mi juicio, sucede como en el episodio histórico en que Winston Churchill se alía con Iósif Stalin frente a Adolf Hitler, bajo el epígrafe de que los enemigos de nuestros enemigos son nuestros amigos.

Por tanto, quisiera verificar cómo esta extraña coalición entre Platón y Demócrito se llevó a cabo en el caso de Galileo. La mayor parte de la historiografía galileana se ha mostrado de acuerdo, sin embargo, en relegar su atomismo a un papel marginal y accidental. No hay un atomismo propio de Galileo, sino, como mucho, algunas ideas ingenuas, o bien, viejas ideas renovadas en forma de hipótesis corpusculares marginales y ocasionales. De hecho, cuanto más se habla de constitución atómica de la materia en el último libro de Galileo, los *Discorsi intorno a due nuove scienze*, tanto más las concepciones de Galileo no tenían nada que ver con el atomismo antiguo en cuanto tal.

La explicación que da Koyré según la cual la nueva ciencia del siglo XVII revalidó la física de Epicuro y de Lucrecio revalorizando el espíritu matemático de Demócrito, parece encajarle perfectamente a Galileo.

En las obras de Galileo jamás aparecen los nombres de Epicuro ni de Lucrecio. No obstante, la ausencia de citas no implica de por sí la total falta de influencia. Sin embargo, que Galileo fuera un seguidor de la escuela de Epicuro sólo llegó a sostenerlo un adversario suyo, el matemático jesuita Orazio Grassi, y, además, con una evidente intención de polemizar contra *Il Saggiatore*⁵. Grassi, desde luego, no constituye una fuente de atribución digna de ser tenida en cuenta.

La primera referencia formal al término átomo que realiza Galileo se produce en el *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono* en el año 1611.

L'istanza, dunque, di Aristotile contro a Democrito, mentre dice che, se gli atomi ignei ascendenti sostenessero i corpi gravi ma di figura larga, ciò dovrebbe avvenire maggiormente nell'aria che nell'acqua, perché tali corpuscoli più velocemente si muovono in quella che in questa, non è buona; anzi dee appunto accader l'opposito, perché più lentamente ascendono per l'aria: e, oltre al muoversi lentamente, non vanno uniti insieme, come nell'acqua, ma si discontinuano e, come diciamo noi, si sparpagliano; e però, come ben risponde Democrito risolvendo l'istanza, non vanno a urtare e fare impeto unitamente. [...]

5 Una clara exposición sobre este particular debate lo relata Pietro Redondi en *Galileo Eretico*, G. Einaudi, 1983.

Ma non però voglio io affermare che Democrito abbia rettamente filosofato, anzi pure dirò io che c'è esperienza manifesta che distrugge la sua ragione: e questa è che, s'e' fosse vero che atomi caldi ascendenti nell'acqua sostenessero un corpo.⁶

Para Demócrito los atomi ignei que hay en el agua ascendían arrastrando a los cuerpos hundidos que por tanto flotarían. Aristóteles criticaba esta explicación. Para Galileo, aunque estos atomi ignei existían, no eran capaces de sostener un cuerpo pesado. Galileo interpretaba la flotación basándose en principios arquimedianos y no en función, como sostenía la doctrina de Aristóteles, de la forma del objeto inmerso en el fluido. Galileo confrontaba el atomismo de Demócrito, el calor como partículas de fuego, con sus ideas hidrostáticas. A partir de entonces, Galileo basa su física en una estructura atómica de la materia compuesta por corpúsculos indivisibles, aunque las propiedades de estos átomos irán amoldándose con el tiempo, transitando de unos átomos con extensión indivisibles a unos átomos non quanti más acordes al modelo corpuscular de la luz que se sostenía en esa época.

Dico dunque che, trovandomi la state passata in conversazione di letterati, fu detto nel ragionamento, il condensare esser proprietà del freddo, e fu addotto l'esempio del ghiaccio. Allora io dissi che avrei creduto più tosto il ghiaccio esser acqua rarefatta, che condensata; poi che la condensazione partorisce diminuzion di mole e augumento di gravità, e la rarefazione maggior leggerezza e augumento di mole, e l'acqua nel ghiacciarsi cresce di mole, e 'l ghiaccio già fatto è più legghier dell'acqua, standovi a galla.⁷

El motivo de la flotación o hundimiento de un cuerpo era, para Galileo, la gravedad específica del cuerpo con respecto a la del fluido. Y esta variación del peso específico era debida a su condensación y rarefacción que modificaban el volumen de la sustancia. La influencia de Arquímedes es patente y a él se encomienda a lo largo de su obra.

En el Discurso intorno alle cose che stanno in su l'acqua no se mencionaba la indivisibilidad, ni extensión de los átomos, pero si aparece explícitamente el vocablo átomo. Sin mayores consideraciones al respecto, es posible que se atuviera al concepto clásico del término.

Passa poi al confutar Democrito, il qual, per sua testimonianza, voleva che alcuni atomi ignei, li quali continuamente ascendono per l'acqua, spignessero in su e sostenessero quei corpi gravi che fossero molto larghi, e che gli stretti scendessero al basso, perché poca quantità de' detti atomi contrasta loro e repugna. Confuta, dico, Aristotile questa posizione, [...].⁸

6 G. Galilei, *Discurso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono*, E-text, 1998, p. 43.

7 *Ibid.*, p. 4.

8 *Ibid.*, p. 42.

Las primeras interpretaciones sobre la naturaleza corpuscular las encontramos hacia 1612 cuando Galileo sostenía que los átomos no es que fueran quanti, sino que siendo corpúsculos mínimos, no había otros más pequeños en que pudieran ser divididos.

Galileo creía en unos átomos con magnitud aunque indivisibles ya que no existían partículas más pequeñas. Explicaba, también, mediante su teoría atómica cómo el fuego estaba diseminado por el agua en pequeños átomos, explicando la ebullición cuando estos átomos se multiplicaban y se movían a gran velocidad y comparándolos con los átomos de tierra que producían el fango.

En su obra *Il Saggiatore* de 1623, afirmaba Galileo que las cualidades sensibles no eran una realidad objetiva, sino que eran tan sólo el efecto de los átomos en los órganos sensoriales. Los colores, el gusto, los olores ... había que considerarlos como estímulos engrandados en los seres vivos, no como distintivos de la materia. Forma, movimiento y posición configuraban las propiedades físicas de los objetos materiales.

Per tanto io dico che ben sento tirarmi dalla necessità, subito che concepisco una materia o sostanza corporea, a concepire insieme ch'ella è terminata e figurata di questa o di quella figura, ch'ella in relazione ad altre è grande o piccola, ch'ella è in questo o quel luogo, in questo o quel tempo, ch'ella si muove o sta ferma, ch'ella tocca o non tocca un altro corpo, ch'ella è una, poche o molte, né per veruna imaginazione posso separarla da queste condizioni; ma ch'ella debba essere bianca o rossa, amara o dolce, sonora o muta, di grato o ingrato odore, non sento farmi forza alla mente di doverla apprendere da cotali condizioni necessariamente accompagnata: anzi, se i sensi non ci fussero scorta, forse il discorso o l'immaginazione per se stessa non v'arriverebbe già mai. Per lo che vo io pensando che questi sapori, odori, colori, etc., per la parte del soggetto nel quale ci par che riseggano, non sieno altro che puri nomi, ma tengano solamente lor residenza nel corpo sensitivo, sì che rimosso l'animale, sieno levate ed annichilate tutte queste qualità.⁹

La comparación con la teoría de atómica se torna inevitable. Según Lucrecio, todos los cuerpos estaban formados de partículas invisibles¹⁰, indivisibles¹¹ e indestructibles¹² de materia pura que se desplazaban en un infinito espacio vacío. Aunque los átomos estuvieran hechos de la misma materia, se diferenciarían por su forma geométrica y por su cantidad, las distinciones cualitativas que perciben los sentidos eran la consecuencia no de las propiedades inherentes a los átomos, sino de su disposición. Leucipo y Demócrito creían que las cosas estaban constituidas por cuerpos invisibles que eran infinitos en número y en forma, distinguiéndose unos de otros por los elementos que los componen, así como por su

9 G. GALILEI, *Il Saggiatore*, E-text, 1997, p. 108.

10 D.R.N. Lib. I vv. 266-270.

11 D.R.N. Lib. I vv. 551-558.

12 D.R.N. Lib. I vv. 483-486.

disposición y orden. Lucrecio también escribe sobre la forma que han de tener los átomos en función de su estado de agregación.

Deben los cuerpos duros y compactos
tener unos principios más corvados
más unidos, ramosos y enlazados,
cuales son, entre otros, los diamantes,
[...]
Empero aquellos líquidos formados
de cuerpo flúido deben componerse
de partes aisladas y redondas
[...]
Los flúidos que ves en un instante
disiparse fugaces como el humo,
las nieblas y la llamas, no se forman
de lisos y redondos elementos,
puesto que el cuerpo hieren y le punzan,
y penetrando los peñascos, deben
agudos ser, no corvos sus principios,
y les daremos puntas más que ganchos.¹³

Es significativo que este acercamiento a las ideas de atomistas trajo a Galileo problemas muy graves. Tres años después en 1626 el jesuita Orazio Grassi insinuó por escrito que este análisis de las cualidades sensibles contradecía la doctrina del sacramento de la eucaristía formulado en la noción de transubstanciación, es decir, que tras la consagración, el pan y el vino se convierten en el cuerpo y la sangre de Cristo. El pan y el vino mantienen sus propiedades secundarias en su aspecto, que se conserva por mediación del todopoderoso. Si estas características fuesen inducidas por la propia naturaleza no sería necesaria la intervención divina.

Hay que tener en cuenta que Galileo nunca fue un progresista en la problemática del vacío, y aunque admitió su existencia, estuvo ligado al horror vacui y a la fuerza del vacío como causa de cohesión de los cuerpos sólidos. Esta concepción influyó en su visión corpuscular de la Naturaleza. Además Galileo no pudo moldear sus ideas corpusculares en función de una oposición a Aristóteles sino que un científico de su talla, tuvo que justificarse en principios, hechos y observaciones físicos y no sólo en una física especulativa.

Los argumentos físicos de Galileo se sustentaban en observaciones y teorías acerca de los estados de agregación de la materia, la diferencia en la cohesión de sólidos y fluidos, los cambios de estado, la fusión mediante partículas de fuego que rompen la continuidad de los sólidos rellenando los intersticios entre partículas indivisibles y venciendo la resistencia del vacío, y la ebullición mediante partículas de fuego que se multiplicaban, la

13 D.R.N. Lib. II vv. 445-463.

condensación y la rarefacción, las observaciones telescópicas en astros que irradian luz (el Sol) y cuerpos que la reflejan (la Luna y otros satélites, Venus y otros planetas) que moldearon su percepción de la luz, el fuego y el calor y cuestionaron la velocidad finita o instantánea de la luz, y la transmisión del calor.

Por otra parte la evolución de este atomismo mecanicista hacia el geométrico defendido en los *Discorsi* se va vislumbrando entre otros argumentos en sus concepciones sobre el fuego y la luz. La propagación térmica se entiende como una razón de átomos mecánicos. Aunque nunca diferenció los mecanismos de esa propagación. Se refirió a la radiación del sol con átomos de velocidad finita frente a la radiación luminosa del sol de difusión instantánea, a la ebullición y convección con átomos de fuego en el *Discorso* intorino *alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono*, y en general a la conducción en la penetrabilidad del calor en los sólidos. Siempre en términos corpusculares.

Debemos reconocer que Galileo parecía seguir aquí verdaderamente la física de Lucrecio. En el *De rerum natura* se puede leer, de hecho, que el espacio recorrido por el fluir atómico de la luz es equivalente a la totalidad del mundo.

Tampoco es de admirar cómo el Sol puede
con su circunferencia tan estrecha
bañar el mar, la tierra, el cielo,
y extender su calor por todas partes:¹⁴

Y no sólo eso, sino que Lucrecio, precisaba que, a diferencia de la luz producida por las sustancias combustibles, sólo una luz pura como la del relámpago tenía velocidad infinita.

Ya no es fácil explicar la causa
de insinuarse mejor fulmíneo fuego
que el nuestro producido de las teas:
porque puedes decir que se componen
los fuegos celestiales de los rayos
de átomos más sutiles, que se cuegan
por poros que no puede entrar el fuego
que hacemos de las leñas y las teas.¹⁵

Como explica Galileo en *Il Saggiatore*, los mínimos de fuego a gran velocidad penetran en las sustancias hasta dividirlos. La luz es atomi realmente indivisibili, de máxima rarefacción y *diffusione* instantánea. Al especular sobre una velocidad infinita Galileo da a entender que las partículas de luz pierden su extensión, y por tanto su difusión es inmediata. Se establece además una diferencia entre luz y fuego que se refleja en sus distintas velocidades, velocísima e instantánea. Discrepancias pues, establecidas en *Il Saggiatore*, fuego o calor

14 D.R.N. Lib. V vv. 592-595.

15 D.R.N. Lib. V vv. 592-595.

son magnitudes extensas que se mueven a velocidad finita, frente a la sutilísima luz inextensa e instantánea. Más tarde, en los Discorsi, los átomos de cualquier cuerpo carecerán todos de extensión, pero en cambio la luz perderá su carácter instantáneo y Galileo se propondrá infructuosamente medir su velocidad.

Itornando al primo mio proposito in questo luogo, avendo già veduto come molte affezioni, che sono repute qualità risedenti ne' soggetti esterni, non àno veramente altra esistenza che in noi, e fuor di noi non sono altro che nomi, dico che inclino assai a credere che il calore sia di questo genere, e che quelle materie che in noi producono e fanno sentire il caldo, le quali noi chiamiamo con nome generale fuoco, siano una moltitudine di corpicelli minimi, in tal e tal modo figurati, mossi con tanta e tanta velocità; li quali, incontrando il nostro corpo, lo penetrino con la lor somma sottilità, e che il lor tocco, fatto nel lor passaggio per la nostra sostanza e sentito da noi, sia l'affezione che noi chiamiamo caldo, grato o molesto secondo la moltitudine e velocità minore o maggiore d'essi minimi che ci vanno pungendo e penetrando, sì che grata sia quella penetrazione per la quale si agevola la nostra necessaria insensibil traspirazione, molesta quella per la quale si fa troppo gran divisione e risoluzione nella nostra sostanza: sì che in somma l'operazion del fuoco per la parte sua non sia altro che, movendosi, penetrare colla sua massima sottilità tutti i corpi, dissolvendogli più presto o più tardi secondo la moltitudine e velocità degl'ignicoli e la densità o rarità della materia d'essi corpi; de' quali corpi molti ve ne sono de' quali, nel lor disfacimento, la maggior parte trapassa in altri minimi ignei, e va seguitando la risoluzione fin che incontra materie risolubili. Ma che oltre alla figura, moltitudine, moto, penetrazione e tocco, sia nel fuoco altra qualità, e che questa sia caldo, io non lo credo altrimenti; e stimo che questo sia talmente nostro, che, rimosso il corpo animato e sensitivo, il calore non resti altro che un semplice vocabolo. Ed essendo che questa affezione si produce in noi nel passaggio e tocco de' minimi ignei per la nostra sostanza, è manifesto che quando quelli stessero fermi, la loro operazion resterebbe nulla: e così veggiamo una quantità di fuoco, ritenuto nelle porosità ed anfratti di un sasso calcinato, non ci riscaldare, ben che lo tegniamo in mano, perch'ei resta in quiete; ma messo il sasso nell'acqua, dov'egli per la di lei gravità ha maggior propensione di muoversi che non aveva nell'aria, ed aperti di più i meati dall'acqua, il che non faceva l'aria, scappando i minimi ignei ed incontrando la nostra mano, la penetrano, e noi sentiamo il caldo.

Perché, dunque, ad eccitare il caldo non basta la presenza de gl'ignicoli, ma ci vuol il lor movimento ancora, quindi pare a me che non fusse se non con gran ragione detto, il moto esser causa di calore. Questo è quel movimento per lo quale s'abbruciano le frecce e gli altri legni e si liquefa il piombo e gli altri metalli, mentre i minimi del fuoco, mossi o per se stessi con velocità, o, non bastando la propria forza, cacciati da impetuoso vento de' mantici, penetrano tutti i corpi, e di quelli alcuni risolvono in altri minimi ignei volanti, altri in minutissima polvere, ed altri liquefanno e rendono fluidi come acqua. Ma presa questa proposizione nel sentimento commune, sì che mossa una pietra, o un ferro, o legno, ei s'abbia a riscaldare, l'ho ben per una solenne vanità. Ora, la confricazione e stropicciamento di due corpi duri, o col risolverne parte in minimi sottilissimi e volanti, o coll'aprir l'uscita a gl'ignicoli contenuti, gli riduce finalmente in moto, nel

quale incontrando i nostri corpi e per essi penetrando e scorrendo, e sentendo l'anima sensitiva nel lor passaggio i toccamenti, sente quell'affezione grata o molesta, che noi poi abbiamo nominata caldo, bruciore o scottamento. E forse mentre l'assottigliamento e attrizione resta e si contiene dentro a i minimi quanti, il moto loro è temporaneo, e la lor operazione calorifica solamente; che poi arrivando all'ultima ed altissima risoluzione in atomi realmente indivisibili, si crea la luce, di moto o vogliamo dire espansione e diffusione instantanea, e potente per la sua, non so s'io debba dire sottilità, rarità, immaterialità, o pure altra condizion diversa da tutte queste ed innominata, potente, dico, ad ingombrare spazii immensi.¹⁶

Galileo no esprime tan libremente la palabra átomo sino que la sustituye por minimi del fuoco, minimi ignei, minimi sottilissimi, partículas con extensión y movimiento finito, pero sin adentrarse en su indivisibilidad. La propagación del calor y sus consecuencias fisiológicas se realiza en términos de partículas mínimas con extensión, aunque no explícitamente átomos. Este término queda reservado a la luz, atomi realmente indivisibili, si crea la luce, di moto o vogliamo dire espansione e diffusione instantanea.

Leucipo y Demócrito defendieron la existencia de un número infinito de constituyentes indivisibles. Estos átomos eran tan pequeños que eran imperceptibles, pero poseían dimensiones y formas desiguales. Además, estas partículas se desplazaban constantemente y colisionaban en el vacío. Del modo e intensidad de estos encuentros nacieron los cuatro elementos fundamentales, agua, aire, tierra y fuego que originaban el resto. Para llegar a una conclusión análoga, Lucrecio necesitó hacer uso del vacío con la ventaja de que así podía justificar la relativa blandura y dureza de los cuerpos que se formaban por agregación de átomos sólidos.

Solídísimos son lo elementos:
 mas como en todo cuerpo haya vacío,
 pueden hacerse blandos como el agua,
 el aire, tierra y fuego; y al contrario, [...] ¹⁷

Para Galileo, el fuego no se ajustaba bien a la idea clásica de elemento. El fuego además emite luz. Galileo manifestó sus dudas acerca del fuego como elemento clásico. Mientras tierra, agua y aire se identificaban fácilmente con sólido, líquido y gaseoso, el fuego no se podía catalogar como elemento básico. Y aún quedaría un estado más sutil; la luz. O quizá la luz, dentro de lo especulativo fuese el elemento primario del que mediante condensaciones complejísimas y lentas se fueran formando las cosas más densas y tupidas. Pero esta aparente elucubración estaba cimentada en observaciones astronómicas. Observaciones que determinaban por ejemplo que algunos cuerpos celestes no emitían sino reflejaban la

¹⁶ G. GALILEI, *op.cit.*, pp. 110-111.

¹⁷ D.R.N. Lib. I vv. 566-569.

luz y que influyeron acerca de su concepción de la naturaleza de la luz. Luz y calor irradia el Sol, aunque sólo el calor penetra en los cuerpos densos, mientras la luz encuentra pocos cuerpos transparentes.

Uno de los problemas que encontró Galileo a su teoría atómica es que no se ajustaba la condensación con átomos que formaban una materia impenetrable. Mientras, la rarefacción amenazaba con crear espacios vacíos entre los constituyentes elementales. Cuando escribió en *Il Saggiatore*,

Come poi si possano rarefare i corpi senza alcuna separazion di parti, e come cammini questo negozio della rarefazione e condensazione, del quale mi par che con molta confidenza parli il Sarsi, l'avrei ben volentieri veduto più distintamente dichiarato, essendo, appresso di me, una delle più recondite e difficili questioni della natura.¹⁸

daba entender que este punto no estaba resuelto, y no lo estaría hasta introducir los mínimos e inextensos espacios vacíos entre los átomos de los *Discorsi*. ¿Cómo conciliar la condensación en cuerpos densos compuestos por partículas extensas sin violar el principio de impenetrabilidad?

En los *Discorsi*, Galileo desarrolla una teoría que aparentemente soluciona estos problemas:

Passo ora ad un'altra considerazione, ed è, che stante che la linea ed ogni continuo sian divisibili in sempre divisibili, non veggio come si possa sfuggire, la composizione essere di infiniti indivisibili, perché una divisione e subdivisione che si possa proseguir perpetuamente, suppone che le parti siano infinite, perché altramente la subdivisione sarebbe terminabile; e l'esser le parti infinite si tira in conseguenza l'esser non quante, perché quanti infiniti fanno un'estensione infinita: e così abbiamo il continuo composto d'infiniti indivisibili.¹⁹

Galileo recogió la idea aristotélica de una indivisibilidad indefinida. Las partes divididas eran infinitas o la división se acabaría, pero a la vez habían de ser inextensas, sino formarían todas juntas una dimensión infinita. Son inextensas y por tanto indivisibles. Para Galileo todas las magnitudes físicas estaban compuestas de infinitos indivisibles inextensas no quanti. Infinitos puntos en una línea e infinitos átomos en la materia. Los indivisibles además de los componentes de los cuerpos, también componen las figuras geométricas. A partir de esta premisa Galileo proponía que los sólidos y los líquidos estaban constituidos de átomos inextensos y la diferencia entre estos estados de agregación estribaba en los vacíos diseminados que incrementaban la cohesión de los sólidos. Otros ilustres intelectuales se

18 G. GALILEI, op. cit., p. 96.

19 G. GALILEI, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, E-text, 1998, pp. 22-23.

adhirieron a la teoría de los indivisibles, aún cuando las opiniones incluidas en los *Discorsi* acerca del vacío comenzaban a ser obsoletas en la nueva generación de científicos.

En esencia, Galileo evolucionó de un atomismo mecanicista de átomos con extensión, indivisibles (1611-1615), al atomismo matemático de los *Discorsi* de átomos *non quanti* (1626-1642). El paso intermedio está en *Il Saggiatore* donde la luz está formada por átomos sin extensión con la salvedad de que disfruta de una difusión instantánea (1615-1623)²⁰. Para transitar a este atomismo global geométrico de átomos sin extensión como la luz, ésta debe perder su velocidad infinita y adquiere el carácter de velocísima. Con la materia compuesta de átomos *non quanti*, y con los sólidos formando un continuo con vacíos infinitesimales entre las partículas, Galileo pretendía ser más coherente con los problemas de condensación, rarefacción y la penetrabilidad de la luz y calor en los cuerpos sólidos. Además establecía una fuerza de cohesión en los sólidos debido precisamente a estos espacios vacíos intersticiales y a la fuerza que el vacío realizaba en los sólidos, fuerza y cohesión de la que carecen el agua y demás fluidos. Muchas ventajas para este modelo de estructura de la materia.

Hasta el momento no he hecho otra cosa que exponer una serie de presencias y ausencias del atomismo en la obra de Galileo: como si citar a Demócrito, a Epicuro, o a Lucrecio en la contrarreforma hubiera sido tan inocente como citar a Platón, a Arquímedes, o a San Agustín. Sólo he hablado de un hilo fino pero resistente que une a Galileo con el atomismo antiguo. Como si el verdadero núcleo de la ciencia galileana no se encontrase en otra parte, en su nueva mecánica y en la cosmología. Me he detenido hasta ahora en corolarios y detalles sin afrontar de hecho la cuestión de fondo suscitada por Koyré acerca del papel inexistente de Epicuro y de Lucrecio en la ciencia del siglo XVII.

Ahora bien, yo creo que, al menos en el caso de Galileo, la cuestión se debería plantear de otra manera, observándola a contracorriente, en vez de desde el punto de vista de la ciencia clásica. El redescubrimiento en 1417 del texto del *De rerum natura* de Lucrecio constituyó un evento intelectual de fuerte impacto. El poema didascálico de Lucrecio divulgaba en el lenguaje más sugerente y más persuasivo del mundo, en poesía, la filosofía de Epicuro, la bestia negra de los padres de la Iglesia. Sin embargo, el *De rerum natura* desvelaba una fisiología cuya fecundidad naturalista y médica no era inferior a la de las obras de Teofrasto, Ovidio, Plinio, Virgilio. El culto a los clásicos, la sintonía de la cultura renacentista con el himno lucreciano a la primavera del progreso no bastan para explicar la fascinación que el *De rerum natura* ejerció en el Renacimiento.

Me parece que hay al menos tres buenas razones para explicar esta lucreciomanía renacentista. En primer lugar, estaba la fuerza propositiva del ideal lucreciano de penetrar

20 En el camino hacia el atomismo matemático y definitivo se pueden apreciar, a su vez, tres etapas tal y como lo muestra C. SOLÍS SANTOS, “El atomismo inane de Galileo”, en *Theoria*, 2007, Vol.59, p. 213.

en la grandeza de la naturaleza para captar una realidad que se escondía tras las apariencias. En segundo lugar, la sugerencia de aplicar al universo la infinitud actual que hasta entonces le había estado reservada a Dios. Pero la clave más importante para comprender el impacto que el atomismo produjo en el Renacimiento cristiano residía, en mi opinión, en las páginas del quinto libro del *De rerum natura*, en que Lucrecio entonaba la gran sinfonía de la creación:

[...] explicarte de qué modo
los átomos unidos han formado
la tierra, el cielo, el mar, el Sol, los astros,
y el globo de la Luna [...] ²¹

Lucrecio, de golpe, volvía a poner en primer plano lo que la reputación de inmoralidad de Epicuro y el materialismo de Demócrito habían hecho olvidar, a saber, que los átomos permitían comprender la naturaleza en el sentido de creación, como génesis primordial de las cosas, lo que no podía hacer la física de Aristóteles, ya que la física de Aristóteles, aun habiéndose reconciliado con el cristianismo, se consideraba la ciencia de las causas inmanentes de un mundo eterno, coeterno con Dios y no creado.

A este propósito, se hace imprescindible no confundir a Lucrecio con Epicuro, sino leer el *De rerum natura* con la misma perspectiva de la profecía pagana de la creación anunciada por Platón. No obstante, también el cristianizado Platón para explicar el orden divino del mundo había recurrido en el *Timeo* a la idea de estructuras atómicas.

Sigamos pues la sugerencia de releer desde este punto de vista el *Timeo* y el *De rerum natura*. Platón contaba cómo Dios, tras haber formado el alma del mundo mezclando en un vaso los principios de lo permanente y de lo mutable, había cruzado los círculos celestes del zodiaco y de la eclíptica. Después había creado el tiempo, o sea los planetas, regulando el movimiento de manera que sobre sus movimientos disformes prevaleciese la regularidad del movimiento uniforme de las estrellas. En fin, para hacer pasar al mundo desde el caos hasta el orden, Dios había recortado el espacio en pequeños triángulos, con los que había construido los cinco sólidos regulares destinados a formar la estructura atómica de los elementos: con el cubo había producido las partículas de la sólida tierra; con el tetraedro las del puntiagudo fuego; con el octaedro las partes del aire, y con el icosaedro las partículas, todavía más móviles, del agua. De estos cuerpos elementales habían nacido todos los seres vivientes de la naturaleza: las plantas, los animales y el hombre. Para terminar, Platón aludía también al dodecaedro, con el cual el Dios ordenador del *Timeo* creaba las partículas etéreas del cielo.

21 D.R.N. Lib. V vv. 66-69.

En la génesis de Lucrecio, en cambio, Dios y la providencia estaban totalmente ausentes. La naturaleza no conocía mandato. En compensación, conocía las leyes del equilibrio de los fluidos de Arquímedes; ya que explicaba el movimiento de los átomos por efecto de su peso mucho mejor que como lo explicaba Demócrito. La física de Epicuro y de Lucrecio hacía del peso el primer motor de la naturaleza, un motor arquimediano.

Pesados o ligeros, en el vacío los átomos tenían la propiedad de moverse todos a la misma velocidad, es decir, con la misma aceleración de caída (*celerare*). La primordial inclinación natural al movimiento hacía a los átomos precipitarse con movimientos rectilíneos como gotas de lluvia, sin encontrarse nunca. Hasta que un día se producía un evento excepcional.

Y has de entender también, ínclito Memmio,
que aun cuando en el vacío se dirijan
perpendicularmente los principios
hacia abajo, no obstante, se desvían
de línea recta en indeterminados
tiempos y espacios; pero son tan leves
estas declinaciones, que no deben
apellidarse casi de este modo.²²

Lucrecio explicaba que sin esta desviación angular espontánea y fortuita la naturaleza no habría creado nada, ya que, al perturbar los movimientos rectilíneos de caída de los átomos, el *clinamen* los hacía chocar y unirse en torbellinos dotados de movimiento rotatorio. El origen de las cosas consistía, por tanto, en la eventualidad extraordinaria del paso de desplazamientos rectilíneos aleatorios a movimientos rotatorios: de la caída a los torbellinos. El agente espontáneo de la creación era el desvío, el *clinamen*, que a partir de la recta inclinada producía un ciclo originando cuerpos más o menos estables según su densidad, destinados a disolverse un día y a renacer de nuevo, hasta el infinito, de manera cíclica.

A continuación, el libro quinto del *De rerum natura* se abría a la escena del amanecer del mundo, cuando todo estaba en el caos y en el desorden.

la discordia que había en los principios
turbaba, y confundía grandemente
los intervalos, direcciones, lazos,
[...]
y por la variedad de sus figuras
no podrían así quedar unidos.²³

Pero gracias a la tendencia natural de los cuerpos a caer por su propio peso en busca de las condiciones de equilibrio, se trazaba un primer orden del universo. Como un río

22 D.R.N. Lib. II vv. 213-220.

23 D.R.N. Lib. V vv. 441-447. Marchena conserva aquí el orden de los manuscritos, otros

que transporta elementos pesados, la naturaleza se apresura a constituir y distribuir los elementos según sus pesos relativos.

Porque los elementos de la Tierra
más graves y embrollados se juntaban
y en el centro ocupaban las regiones
más inferiores; cuanto más estrecho
su enlace fue, tanto mejor sacaron
con superabundancia la materia
que formase los mares, las estrellas,
el Sol y Luna [...].²⁴

También en la física arquimediana de Galileo todo pesa, todo cae. Como los átomos de Lucrecio, también los cuerpos de Galileo caen en el vacío con la misma velocidad acelerada. Y también la física del peso de Galileo se estructura desde su nacimiento como una cosmogonía. La verdadera teoría galileana de la constitución del universo es, sin embargo, la publicada al comienzo del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano* (y después reimpressa también en los *Discursi*), que el autor había apuntado ya en 1610 en el *Sidereus Nuncius*; lo cual es muy importante, ya que significa que Galileo había concebido aquella cosmogonía justamente en los años de Padua en que estudiaba el movimiento naturalmente acelerado de caída y la cosmología del *Mysterium Cosmographicum* de Kepler.

En el *Dialogo*, Salviati ponía como hipótesis una mecánica con la cual la naturaleza había pasado en su génesis desde el desorden dove confusamente ed inordinatamente andavano indistinte materie vagando²⁵ hasta el orden actual de las parti del mondo con ordine perfetto²⁶. En un principio la naturaleza había seguido la propia tendencia espontánea a descender con movimientos rectilíneos, que dispersaron la materia hasta el infinito en todas direcciones. La simetría providencial del universo que Galileo denominaba la distribución y disposición óptima había nacido gracias a una milagrosa conversión del movimiento recto en movimiento circular, en el que después se han mantenido todos los cuerpos del mundo.

Este modelo de la creación le servía a Galileo para introducir, a través de infinitos incrementos de velocidad, su descubrimiento de la ley temporal del movimiento de caída a partir del estado de reposo: ley universal, válida tanto para los cuerpos terrestres como para los celestes. Galileo la aplicaba, de hecho, al estudio del caso particular de la creación de

traductores colocan aquí 437-439.

24 D.R.N. Lib. V vv. 449-452.

25 G. GALILEI, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*, E-text, 1997, p. 15.

26 Ibid., p.15.

los movimientos de los planetas. También los planetas, en un principio, se habían dejado caer durante un tiempo fijado, y después Dios los había desplazado a sus órbitas circulares uniformes. Para este argumento planetario de su teoría mecánica de la creación de los planetas, Galileo afirmaba haberse inspirado libremente en Platón. Eso era aceptable, visto que en el *Timeo* Dios había hecho prevalecer en las órbitas planetarias el movimiento uniforme de las estrellas, en los cielos, en la tierra el Dios de Platón se limitaba a imponer formas geométricas a las partículas de los elementos sin preocuparse de manera efectiva de las direcciones de sus movimientos.

Galileo, en cambio, imaginaba la creación como tránsito de toda la materia (*i corpi integrali del mondo*)²⁷ desde un sistema abierto a un sistema estable. Y explicaba que eso había sucedido gracias a la singularidad de un suceso mecánico extraordinario que había eliminado el desorden inicial: aquel caos primigenio, que era como un campo de vectores infinitos. El providencial suceso ordenador del universo había consistido en la transformación de los movimientos inicialmente rectilíneos de la materia en una dirección circular en torno a un centro. El único criterio posible para concebir la constitución temporal de los cuerpos como un universo creado era, por tanto, idéntico al principio lucreciano de la declinación fortuita de los átomos, aquel *clinamen*, que ahora el *Dialogo* bautizaba en clave providencial, en cuanto que principio omnipotente de orden, con el nombre cristiano de Dios: *sí come niente diminuisce la Sua onnipotenza -precisa Salviati en el Dialogo- il dire che Iddio non può fare che il fatto non sia fatto.*²⁸

Quisiera concluir diciendo que el atomismo antiguo, lejos de no ser una influyente retórica yuxtapuesta a la verdadera ciencia galileana, fue el principio y fin de la física de Galileo; y no sólo porque en su física tienen pleno derecho de ciudadanía las hipótesis corpusculares censuradas en nuestros días como instrumental polemista de una filosofía natural veleidosa y fanfarrona; sino porque la física corpuscular de Galileo, su mecánica, su cosmología, pertenecen a un modelo global idéntico, que las dirige. La atomización representaba en la física lo que el descubrimiento de las leyes del movimiento de caída era en la mecánica de Galileo, y la circularidad copernicana de las órbitas planetarias en su astronomía.

El movimiento sobre el plano inclinado era un caso singular de la constitución del universo trazada por los antiguos filósofos. La física arquimediiana de Galileo iba de la ontología a la fenomenología. La nueva ciencia galileana había tomado los impulsos de la ontología fundamental del atomismo, es decir, de las categorías lucrecianas de pesadez y fluidez universales, para llegar a la fenomenología mecánica de la caída de los cuerpos pesados y aplicarla a los movimientos de los planetas. El precepto atomista de estudiar de la misma manera los fenómenos terrestres y celestes había sido, por tanto, fecundo

27 *Ibid.*, p.15.

28 *Ibid.*, p.61.

para Galileo. Y no debe sorprendernos la fecundidad del atomismo para el surgir de la ciencia moderna, ya que en la física de los átomos la ciencia de finales del Renacimiento encontraba lo que más falta le hacía: la posibilidad de pensar el orden divino en *De rerum natura*.

Copérnico había escrito en el *De revolutionibus* que una simple gota de agua revelaba la propensión instintiva de la materia universal a plasmarse en la forma esférica²⁹. También para Kepler el código genético del cosmos lo constituían sus formas y proporciones geométricas. A Galileo no le bastaba este formalismo, ya que Galileo no era un matemático platónico, sino arquimediano. Era un físico atomista que creía que el primer instinto de la naturaleza universal era el movimiento de descenso, cuya ley matemática había descubierto: un descubrimiento superior a su propio genio; ya que la caída natural no bastaba para producir el orden sin intervención de un motor, de una fuerza productiva capaz de transformar en rotación la caída. Y esta fuerza misteriosa quedaba fuera del alcance de la inteligibilidad estática y cinemática de la física de Galileo. El universo, por tanto, remontaba su origen hasta una intervención externa a la naturaleza, sobrenatural. La fuerza ordenadora, el *deus ex machina* de la Creación, que Lucrecio llamaba *clinamen*, Galileo vuelve a bautizarlo con el nombre de Dios. La extraña alianza entre Demócrito y Platón que Alexandre Koyré señalaba era, en realidad, una alianza entre Lucrecio y el cristianismo, aún más extraña, si cabe.

29 N. Copérnico, *Sobre las Revoluciones de los Orbes Celestes*, Tecnos, 1987, p. 15.